

## 2020 年度国家自然科学奖提名公示信息

项目名称	面向机器人灵巧操作的多模态智能控制与感知理论与方法
提名者	郭雷 北京航空航天大学 教授 控制科学与工程
提名意见	<p>该项目研究成果针对机器人在灵巧操作过程中的复杂动力学特性、控制与传感网络的复杂传输特性，以及操作环境与目标的复杂属性，通过团队成员二十余年的深入研究，建立了集感知、传输和控制的多模态机器人智能控制理论方法。具体来说，针对灵巧操作过程中机械臂动力学建模难、多重时标和状态不确定等挑战性问题，建立了基于多模态复合学习的神经网络与模糊逻辑控制理论方法；针对人在回路的灵巧遥操作过程中网络传输存在的不确定时延、信息丢包和乱序等挑战性问题，建立了针对机器人灵巧遥操作的多模态跳变网络化智能控制理论；针对复杂环境下机器人灵巧操作过程中目标与环境属性复杂等挑战性问题，建立了针对机器人灵巧操作的多模态视-触觉感知理论方法。</p> <p>该项目成果形成了系统的面向机器人灵巧操作的智能控制理论体系，并取得了突破性的创新性成果。代表性论文均发表于高影响力的国际学术期刊，并获得多位 IEEE Fellow 的充分肯定与高度评价以及国内外学术奖项。在实践应用方面，相关理论成果已在空间机器人地面实验平台系统上获得验证，并应用于工业机器人系统，以及国家空间遥操作飞行试验。</p> <p>推荐该项目申报 2020 年度国家自然科学二等奖。</p>

提名者	孙家广 清华大学 教授 计算机科学与技术
提名意见	<p>灵巧操作是机器人的核心关键技术之一。然而，机器人实际操作过程中呈现复杂的非线性、多时标和不确定动力学特性，采用传统的数学建模方法难以满足高性能控制器设计的要求。该项目在国家自然科学基金杰出青年基金项目、重大仪器项目与面上项目等的支持下，针对机器人灵巧操作过程智能控制的关键科学问题，开展了系统深入的长期研究，在基于多模态复合学习的神经网络与模糊逻辑控制方法和基于异构视-触觉多模态信息融合的智能感知与操作方法，取得了一系列针对机器人灵巧遥操作的多模态网络化智能控制理论和多模态感知理论的原创性成果。其研究成果发表于国际权威期刊，并获得多位 IEEE Fellow 的充分肯定与高度评价。</p> <p>机器人智能操控方面的研究成果获得 2016 年世界机器人大会“最佳科技创新奖”，以及 2016 与 2019 年国际机器人与系统大会（IROS）举办的“机器人自主抓取与操作”国际竞赛冠军。相关理论成果已在空间机器人地面实验平台上获得验证，并应用于工业机器人系统，以及国家空间遥操作飞行试验。项目成果具有重要的理论意义和应用价值。</p> <p>推荐该项目申报 2020 年度国家自然科学基金二等奖。</p>

提名者	胡德文 中国人民解放军国防科技大学 教授 控制科学与工程
提名意见	<p>灵巧操作是机器人领域的核心技术，具有理论难度大、应用范围广的特点。在实际操作过程中，机器人系统呈现复杂非线性动力学、不确定网络属性和外部操作环境可变等特性，采用传统的控制方法难以满足高性能控制器设计的要求。该项目在国家自然科学基金杰出青年基金、重大仪器和 973 课题等的支持下，开展了系统深入的长期研究，取得了系统性、原创性成果。主要包括：（1）提出了基于多模态复合学习的机器人控制理论，解决灵巧操作过程中机械臂动力学难以精确建模、多重时标，以及状态难以量测等挑战性问题。</p> <p>（2）提出了基于多模态网络化机器人控制理论方法，解决了人在回路的灵巧遥操作过程中网络传输存在的不确定时延、信息丢包和乱序等挑战性问题。（3）提出了基于异构视-触觉多模态信息融合的机器人智能感知与操作理论，解决了复杂环境下机器人灵巧操作过程中目标与环境属性复杂等挑战性问题。</p> <p>该项目的研究成果在机器人灵巧操作方面取得了突破性创新，促进了机器人灵巧操作基础理论的发展，开辟了新的研究方向，获得了国内外的众多奖项以及重要比赛冠军。并且，该成果成功应用到了航天系统工程和工业机器人系统中，成效显著。因此，该项目具有重要的理论意义和应用价值。</p> <p>推荐该项目申报 2020 年度国家自然科学基金二等奖。</p>

项目简介	<p>该成果属于机器人与信息其他多学科的交叉领域。</p> <p>突破机器人高效灵巧操作的理论方法，是推动落实人工智能与机器人自主创新国家战略的必由之路。灵巧操作是机器人领域的核心难题，主要体现在操控过程呈现的复杂动力学特性，控制与传感网络的复杂传输特性，以及操作环境与目标的复杂属性，严重影响了机器人操控过程的性能。该项目通过引入不同类型的表示模型、控制模态与感知手段，经过长期研究，建立面向机器人灵巧操作的多模态智能建模、控制与感知的理论方法，为解决复杂操控与复杂网络环境下的机器人灵巧操作问题提供了新的解决途径。</p> <p>该项目组自上世纪 80 年代起在国内率先开展机器人与智能控制方面的研究与应用工作，发起创办全国智能控制研讨会，并出版了国内较早的机器人智能控制方面教材。历经三代人努力，针对机器人自主操作与遥操作过程存在的动力学不确定、网络时空失配与异构多模态信息融合问题，建立了面向机器人灵巧操作的多模态智能控制与感知理论与方法。主要科学发现为：</p> <p>(1) 针对灵巧操作过程中机器人动力学难以精确建模、多重时标，以及状态难以量测等挑战性问题，提出了基于多模态复合学习的神经网络与模糊逻辑控制方法，建立面向机器人灵巧操作的多模态智能控制理论。</p> <p>(2) 针对机器人多边灵巧遥操作过程中网络传输存在的非对称随机时延、信息丢包和乱序等挑战性问题，提出了基于多模态复合建模的神经网络与模糊逻辑控制方法，建立了面向机器人灵巧遥操作的多模态自适应网络化智能控制理论。</p> <p>(3) 针对复杂环境下机器人灵巧操作过程中目标与环境属性复杂等挑战性问题，提出了基于异构视-触觉多模态信息融合的智能感知与操作方法，建立了面向机器人灵巧遥操作的多模态感知理论。</p> <p>8 篇代表性论文均发表于该领域国际权威学术期刊。引文作者包括 20 余位 IEEE Fellow。研究成果获得 Choon-Gang 国际学术一等奖、吴文俊人工智能科学技术奖创新奖一等奖，以及 IEEE 仪器与测量协会颁发的 Andy Chi 最佳论文奖。项目组成员受邀担任 IEEE TCDS、IEEE T-ASE、IEEE TFS、IEEE TII、IEEE TSMC-S 等机器人与自动化领域重要国际期刊的 Associate Editor，创办国际期刊 Cognitive Computation and Systems，并应邀在 ICRA、IROS 等国际重要会议上做大会报告与特邀报告 20 余次，两人入选 ESI 高被引学者。机器人智能操控方面的研究成果获得 2016 年世界机器人大会“最佳科技创新奖”，以及 2016 与 2019 年国际机器人与系统大会（IROS）举办的“机器人自主抓取与操作”国际竞赛冠军。相关理论成果已应用于多类工业机器人，以及国家空间遥操作飞行试验。</p>
------	--

主要完成人 (完成单位)	孙富春 清华大学 李智军 华南理工大学 刘华平 清华大学 孙增圻 清华大学
-----------------	--

代表性论文（专著）目录

序号	论文（专著）名称/刊名/作者	年卷页码 (xx年xx卷xx页)	发表时间 (年月日)	通讯作者 (含共同)	第一作者 (含共同)	国内作者	他引总次数	检索数据库	论文署名单位是否包含国外单位
1	Neural network-based adaptive controller design of robotic manipulators with an observer/ IEEE Transactions on Neural Networks/ Fuchun Sun, Zengqi Sun, Peng-Yung Woo	2001年12卷 54-67页	2001年1月1日	孙富春	孙富春	孙富春, 孙增圻	69	Web of Science 核心合集	是
2	Neuro-fuzzy dynamic-inversion-based adaptive control for robotic manipulators-Discrete time case/ IEEE Transactions on Industrial Electronics/ Fuchun Sun, Li Li, Hanxiong Li, Huaping Liu	2007年54卷 1342-1351页	2007年6月1日	孙富春	孙富春	孙富春, 李莉, 李翰雄, 刘华平	51	Web of Science 核心合集	否
3	Analysis and design of fuzzy controller and fuzzy observer/ IEEE Transactions on Fuzzy Systems/ Xiaojun Ma, Zengqi Sun, Yanyan He	1998年6卷 41-51页	1998年2月1日	马晓军	马晓军	马晓军, 孙增圻, 何燕燕	358	Web of Science 核心合集	否
4	Stability analysis and synthesis of fuzzy singularly perturbed systems/ IEEE Transactions on Fuzzy Systems/ Huaping Liu, Fuchun Sun, Zengqi Sun	2005年13卷 273-284页	2005年4月1日	刘华平	刘华平	刘华平, 孙富春, 孙增圻	71	Web of Science 核心合集	否
5	Adaptive fuzzy control for multilateral cooperative teleoperation of multiple robotic	2014年22卷 437-450页	2014年4月1日	李智军	李智军	李智军, 夏元清, 孙富春	69	Web of Science 核心合集	否

	manipulators under random network-induced delays/ IEEE Transactions on Fuzzy Systems/ Zhijun Li, Yuanqing Xia, Fuchun Sun								
6	Trilateral teleoperation of adaptive fuzzy force/motion control for nonlinear teleoperators with communication random delays/ IEEE Transactions on Fuzzy Systems/ Zhijun Li, Liang Ding, Haibo Gao, Guangren Duan, Chunyi Su	2013年21卷 610-624页	2013年 8月1日	李智军	李智军	李智军, 丁亮, 高海波, 段广仁, 苏春翌	69	Web of Science 核心合集	否
7	Object recognition using tactile measurements: kernel sparse coding methods/ IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement/ Huaping Liu, Di Guo, Fuchun Sun	2016年65卷 656-665页	2016年3月1日	刘华平	刘华平	刘华平, 郭迪, 孙富春	81	Web of Science 核心合集	否
8	Object classification and grasp planning using visual and tactile sensing/ IEEE Transactions on Systems Man Cybernetics: Systems/ Fuchun Sun, Chunfang Liu, Wenbing Huang, Jianwei Zhang	2016年46卷 969-979页	2016年7月1日	孙富春	孙富春	孙富春, 刘春芳, 黄文炳, 张建伟	11	Web of Science 核心合集	是
合 计							779		